

Грязев А.Н.

Модель виртуальной транспортной сети федеральной системы подвижной радиосвязи специального назначения

Рассматривается модель виртуальной транспортной сети федеральной системы подвижной радиосвязи специального назначения совместно учитывающая топологические структуры первичной сети связи и ВТС, информацию об объёме и распределении трафика конечных точек ВТС, возможных алгоритмов маршрутизации потоков, а также ограничения на сетевые ресурсы

В процессе реализации мероприятий по поддержанию требуемого уровня государственного и военного управления в Российской Федерации на одно из первых мест выдвигается задача повышения эффективности системы управления. Одной из приоритетных задач в этом направлении является внедрение новых и совершенствование существующих систем (сетей) подвижной радиосвязи (СПРС) специального назначения (СН) силовых министерств и ведомств. Вместе с тем собственные СПРС СН силовых министерств и ведомств являются зачастую не только разнотипными и несовместимыми между собой, но и, применительно к современному уровню требований, имеют ограниченные технические возможности. Объединение усилий возможно только при условии создания федеральной системы подвижной радиосвязи (ФСПРС) специального назначения с единой инфраструктурой связи. Это подразумевает создание на территории РФ отказоустойчивой цифровой телекоммуникационной инфраструктуры для ФСПРС СН, в качестве которой предлагается виртуальная транспортная сеть (ВТС).

Однако, несмотря на повышенный интерес по тематике исследования, приемлемое решение ряда теоретических и практических задач на данный момент не получено. Основные усилия при исследовании СПРС СН были направлены на разработку методик частотного и территориального планирования, в то время как задача построения ТС в комплексе оставалась нерешенной.

Рассмотрим основные аспекты построения ТС ФСПРС СН на базе технологии VPN.

Общая задача построения ВТС является задачей многокритериальной оптимизации, имеющей *NP*-сложность, поэтому целесообразно произвести её декомпозицию на совокупность взаимоувязанных частных задач:

1. анализ современного состояния развития СПРС СН, структуры и основных принципов создания ФСПРС СН, возможности применения технологии VPN для построения ВТС ФСПРС СН;

2. анализ существующих способов описания показателей качества функционирования ТС первичных сетей военной связи различной физической природы и выбор основных показателей качества функционирования ВТС ФСПРС СН. Разработка формализованного математического описания задачи исследования;

3. определение подходов, обеспечивающих распределение выделенных ресурсов первичной сети связи с учетом соответствующего критерия оптимизации, на основе анализа проблемы оптимального распределения сетевых ресурсов общего пользования для реализации ВТС;

4. разработка модели и алгоритма формирования ТС ФСПРС СН как виртуальной сети связи, позволяющей решать задачи анализа и синтеза структуры сети на базе выделенного ресурса первичной сети связи ЕСЭ РФ с учетом требований, предъявляемых системой управления;

5. разработка методики построения ВТС ФСПРС СН с учетом комплексного дестабилизирующего воздействия совокупности факторов непреднамеренного и преднамеренного характера, которую можно будет использовать при подготовке решений и планировании связи;



б. разработка предложений по практической реализации ВТС ФСПРС СН с применением технологии VPN и поддержкой MPLS с возможностью организации туннелирования.

Основными показателями, определяющими качество функционирования ВТС, являются пропускная способность и отказоустойчивость.

Условие выполнения требований по пропускной способности и отказоустойчивости записаны в следующем виде

$$\{C^{BTC} = C_{min}^{BTC}\} < C^{выд}. \quad (1)$$

$$P_{oy}^{BTC} \geq P_{oy}^{треб}, \quad (2)$$

где $P_{oy}^{треб} = 0,95$.

Основные положения, которые позволяют решить задачу реализации математической модели ТС ФСПРС СН как виртуальной сети связи, с учетом выбранного подхода, представлены в следующем виде.

Первичная сеть связи общего пользования задается в виде неориентированного графа $G(MN)$, без петель и контуров [1].

Множество вершин

$$M = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \in G$$

соответствует узлам сети, где m – число вершин в графе $G(M)$.

Множество ребер

$$N = \{r_1, r_2, \dots, r_n\} \subset M \times M \in G$$

соответствует линиям сети. Ребрам графа $G(MN)$ приписаны веса, которые заданы матрицей

$$L = \|a_{ij}\|_{m \times m}, \quad i, j = \overline{1, m}$$

в направлении от вершины $i \in M$ к вершине $j \in M$.

Модель ВТС представлена в виде неориентированного графа $G^{BTC}(M'N')$, где каж-

дому элементу графа $G(MN)$ поставлен в соответствие элемент графа $G^{BTC}(M'N')$, т.е. справедливо $M' \subseteq M$, $N' \subseteq N$, где $M' \in G^{BTC}$ – множество вершин; $N' \in G^{BTC}$ – множество ребер, соединяющих вершины [1]. В качестве структурного ограничения принято, что ВТС имеет специальную структуру в виде древовидной топологии.

Модели ВТС а также резерва пропускных способностей на основе фиксированного закрепления каналов [2] и гибкого распределения потоков нагрузки представлены на рисунках 1 и 2.

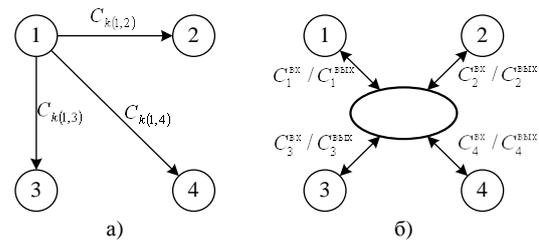


Рис. 1. Модель резерва пропускных способностей на основе фиксированного закрепления каналов (а) и гибкого распределения потоков нагрузки (б) ВТС

Совокупность конечных точек ВТС W определена как подмножество вершин множества M' , $W \subseteq M'$ и для каждой вершины $i \in W$, являющейся конечной точкой ВТС, определен максимальный трафик на входе и на выходе, которые обозначим через $C_i^{вх}$ и $C_i^{вых}$ соответственно. На каждом ребре $e \in G^{BTC}$ выделена необходимая пропускная способность $c(i, j)$ в направлении от вершины i к вершине j и пропускная способность $c(j, i)$ в направлении от вершины j к вершине i .

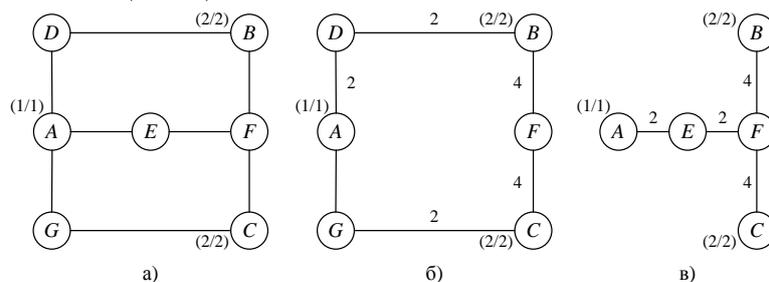


Рис. 2. Пример построения ВТС:

а) исходный граф сети; б) ВТС на основе фиксированного закрепления каналов; в) ВТС на основе гибкого распределения потоков нагрузки

При этом в реализуемой ВТС необходимо найти такое распределение суммарной пропускной способности с минимальным значением C_{min}^{BTC} , чтобы граф $G^{BTC}(M'N')$ с пропускной способностью $c(i, j)$ каждого ребра $e \in G^{BTC}$ мог обеспечить поддержку любой допустимой матрицы трафика Y с учетом занятия соответствующих выделенных пропускных способностей на отдельных участках первичной сети связи.

Исходя из особенностей древовидной топологии сети, трафик, связывающий две совокупности конечных точек $W_i^{(i,j)}$ и $W_j^{(i,j)}$, не может превышать величину

$$\min\left\{\sum_{i \in W_i^{(i,j)}} C_{ij}^{6bx}, \sum_{j \in W_j^{(i,j)}} C_{ij}^{6x}\right\}. \quad (3)$$

Выражение (3) характеризует величину, которая является минимумом пропускной способности на выходе из конечных точек ВТС совокупности $W_i^{(i,j)}$ и суммарной пропускной способности на входе в конечные точки совокупности $W_j^{(i,j)}$. В целом же, пропускная способность, резервируемая на ребре (i, j) дерева D от вершины i к вершине j , определяется выражением

$$c_D(i, j) = \min\left\{\sum_{i \in W_i^{(i,j)}} C_{ij}^{6bx}, \sum_{j \in W_j^{(i,j)}} C_{ij}^{6x}\right\}. \quad (4)$$

от вершины j к вершине i выражением

$$c_D(j, i) = \min\left\{\sum_{i \in W_i^{(i,j)}} C_{ij}^{6x}, \sum_{j \in W_j^{(i,j)}} C_{ij}^{6bx}\right\}. \quad (5)$$

Суммарная пропускная способность, которая резервируется на всех ребрах дерева D , определяется выражением

$$C_D^{BTC} = \sum_{(i,j) \in W} c_D(i, j). \quad (6)$$

Таким образом,

$$c_D(i, j) = \min\{C_{ij}(W_i^{(i,j)}), C_{ij}(W_j^{(i,j)})\}. \quad (7)$$

Из-за равенства занимаемой пропускной способности на ребре в обоих направлениях возможно записать следующее выражение

$$W(D, i) = 2 \sum_{m \in M} C_m l_D(i, m), \quad (8)$$

где $l_D(i, m)$ – длина единственного пути (общее количество ребер в пути) из вершины i в вершину m дерева D .

Из дерева D построено ориентированное дерево D_d путем определения направления

каждого ребра $e = (i, j)$, и для оптимального дерева D_{opt} суммарная требуемая пропускная способность определяется выражением

$$C_{D_{opt}}^{BTC} = W(D_{opt}, i(D_{opt})). \quad (9)$$

Если построены все остовные деревья для каждой вершины графа $G^{BTC}(M'N') \in G$ и для них определены требуемые пропускные способности, тогда оптимальным является дерево D_i с минимальным значением пропускной способности $W(D_i, i)$.

Математическая модель рассматриваемой задачи построения ТС как виртуальной сети связи в терминах теории графов [1, 3, 4] записана в следующем виде:

Исходные данные:

- граф $G(MN)$ с набором вершин M , звеньев N ;
- граф G^{BTC} с набором вершин M' , ребер N' , $G^{BTC}(M'N') \in G$;
- совокупность конечных точек W , $W \subseteq M'$;
- C_i^{6x} и $C_i^{6bx} \in Z_+$ (Z_+ – множество действительных положительных чисел).

Ограничения:

$$c(i, j) = \min\left\{\sum_{i \in W_i^{(i,j)}} C_{ij}^{6bx}, \sum_{j \in W_j^{(i,j)}} C_{ij}^{6x}\right\};$$

$$c(j, i) = \min\left\{\sum_{i \in W_i^{(i,j)}} C_{ij}^{6x}, \sum_{j \in W_j^{(i,j)}} C_{ij}^{6bx}\right\}.$$

Условия реализации:

$$Y : |W| \times |W| \rightarrow Z_+ : \sum_{i \in W, i \neq j} c(i, j) \leq C_j^{6x} \text{ и}$$

$$\sum_{i \in W, i \neq j} c(i, j) \leq C_j^{6bx}$$

для любого $j \in W$;

$$C_{D_{opt}}^{BTC} = W(D_{opt}, i(D_{opt})), C_{min}^{BTC} = C_{D_{opt}}^{BTC}.$$

Основное отличие представленной модели от аналогичных, заключается в совместном учете топологической структуры первичной сети связи, на базе которой реализуется ВТС, и непосредственно топологической структуры ВТС, информации о количестве и распределении трафика конечных точек ВТС, возможных алгоритмов маршрутизации потоков, ограничений на сетевые ресурсы и др.



Список использованных источников

- 1 Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987.
- 2 Росляков А.В. Оптимальное распределение сетевых ресурсов для реализации виртуальных частных сетей // Труды учебных заведений связи. – СПб., СПбГУТ. – 2004. С. 65-74.
- 3 Грязев А.Н. Распределение ресурсов первичной сети связи на основе применения

трафика потоков. Сб. тезисов докл. XII Санкт-Петербургской международной научно-практической конференции «Региональная информатика-2008». – СПб.: СПОИСУ, 2008. С. 73-75.

- 4 Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы. – М.: Мир, 1984.

